

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004年3月4日 (04.03.2004)

PCT

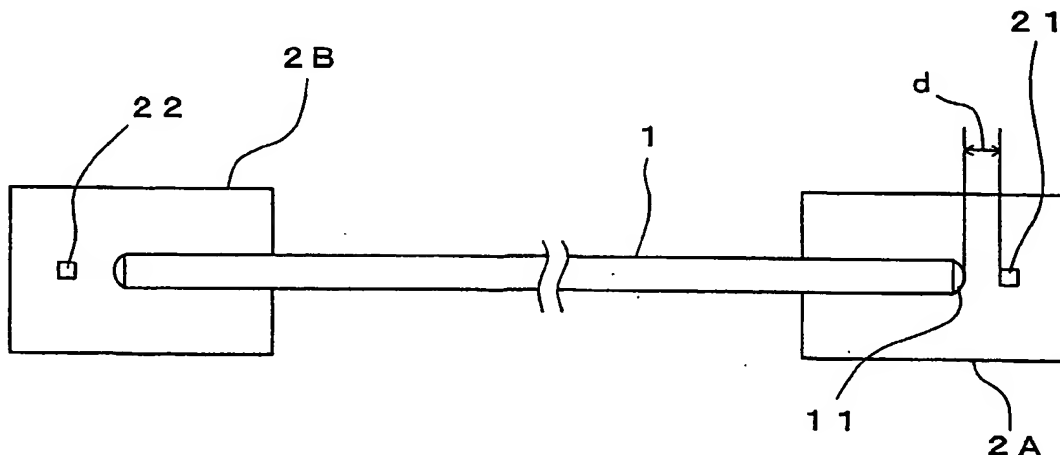
(10) 国際公開番号  
WO 2004/019099 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 6/42  
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/010543  
(22) 国際出願日: 2003年8月21日 (21.08.2003)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ: 特願2002-241982 2002年8月22日 (22.08.2002) JP  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シャープ株式会社 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒545-8522 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 Osaka (JP).  
(72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 石井 頼成 (ISHII, Yorishige) [JP/JP]; 〒635-0052 奈良県大和高田市奥田505 Nara (JP). 岩木 哲男 (IWAKI, Tetsuo) [JP/JP]; 〒639-1041 奈良県大和郡山市満願寺町814-31 Nara (JP). 田村 寿宏 (TAMURA, Toshihiro) [JP/JP]; 〒636-0302 奈良県磯城郡田原本町宮古352-5 Nara (JP).  
(74) 代理人: 河宮 治, 外 (KAWAMIYA, Osamu et al.); 〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1丁目3番7号 IMPビル 青山特許事務所 Osaka (JP).  
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

(54) 発明の名称: 光通信システム



(57) Abstract: An optical communication system comprising a plastic optical fiber (1) and an optical communication module (2A), wherein the optical fiber (1) has a spherical end surface (11), and the numerical aperture of light emitted from the spherical end surface (11) is up to 0.35. The optical fiber (1) is installed at the optical communication module (2A) so that the light receiving surface of a light receiving element (21) is a distance d away from the apex of the optical fiber spherical end surface (11). When the diameter of the optical fiber is D, the radius R of curvature of the spherical end surface  $r \cdot D$ , the refractive index of the optical fiber core n, and the refractive index of a substance between the spherical end surface of the optical fiber and the light receiving element n1, the distance d provides the relation  $0 < d \leq r \cdot D / (n - n1)$  when the diameter of the light receiving element is up to D, and the relation  $D \leq d \leq r \cdot D / (n - n1)$  when the diameter is larger than D. Accordingly, this optical communication system enables the efficient optical coupling of an optical fiber having a large diameter and a light receiving element having a small diameter with a simple configuration.

(57) 要約: プラスチック光ファイバ (1) と光通信モジュール (2A) を備える光通信システムにおいて、光ファイバ (1) は球状端面 (11) を有し、球状端面 (11) から出射する放射光の開口数は 0.3

[続葉有]



LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ,  
OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL,  
SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,  
YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,  
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,  
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許  
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

5以下である。光ファイバ(1)は、受光素子(21)の受光面が光ファイバの球状端面(11)の頂点から距離dの位置にくるように光通信モジュール(2A)に設置される。光ファイバの直径をD、球状端面の曲率半径Rを $r * D$ 、光ファイバのコアの屈折率をn、光ファイバの球状端面と受光素子との間に存在する物質の屈折率を $n_1$ とすると、距離dは、受光素子の直径がD以下のとき、 $0 < d \leq r * D / (n - n_1)$ であり、受光素子の直径がDより大きいとき、 $D \leq d \leq r * D / (n - n_1)$ である。これにより、この光通信システムは、口径の大きい光ファイバと口径の小さい受光素子の光学的な結合を簡素な構成で効率良く行得る。

## 明 細 書

## 光通信システム

## 5 技術分野

本発明は、光ファイバを用いて光信号を送受信することのできる光通信システムに関し、より詳しくはプラスチック光ファイバを伝送媒体として、家庭内通信や電子機器間通信、LAN（ローカル・エリア・ネットワーク Local Area Network）等に適用することのできる光通信システムに関するものである。

10

## 背景技術

光ファイバを用いた光通信システムは、光ファイバによる信号伝送路の一端側に送信系を備え、また他端側に受信系を備えている。送信系は例えば発光ダイオードや半導体レーザなどの光源（発光素子）を備えており、この発光源を制御して発光させた信号光を光ファイバに入射させる。一方、受信系は、例えばフォトダイオード等の受光素子を備えており、光ファイバより出射した信号光をこの受光素子が受光して、電気信号に変換する。

15

20

このような光通信システムの性能は信号光の伝送効率に大きく依存する。また、該伝送効率は光ファイバ自体の伝送効率、発光源から光ファイバへの結合効率、光ファイバから受光素子への結合効率により主に決定される。

従来の光通信システムにおける受信系は、大別すると、光ファイバからの出射光を直接受光素子で受光するものと、光ファイバと受光素子の間に配置されたレンズ等の光学系を介して集光させて受光するものの二種類がある。

25

このような光ファイバと受光素子との光学的結合方法は、コア径がマイクロメートルオーダーの太さの石英ファイバ用として、広く使用されている。しかしながら、コア径がミリメートルオーダーのプラスチック光ファイバの場合には、問題が生ずる。プラスチック光ファイバは家庭内ネットワーク等で近年注目されている光ファイバであるが、プラスチック光ファイバはファイバ径が0.5～2mmと大きく、接続しやすい反面、口径が大きいため受信器への結合効率が低下する問題が

ある。通常、光ファイバ通信に使用される受光素子の受光径は数百 $\mu\text{m}$ ～百 $\mu\text{m}$ であるため、コア径が小さい光ファイバであれば問題ないが、例えば口径1mmのプラスチック光ファイバの場合、レンズ等を使用しても光源のサイズより小さいサイズに集光することが困難だからである。特に伝送速度が高くなればなるほど、

5 容量の関係から受光径を小さくする必要があるため、結合効率即ち受信効率の低下が発生する。

そのような問題を解決するものとして、図25に示すような光ファイバと受光素子との結合構造を有する光通信システムが知られている。この光通信システムでは、高反射性の反射面103で囲まれた導光路102を有する同導光体101

10 を光ファイバ104と受光素子105との間に介在させ、光ファイバ104から出射する信号光をこの導光体101にて受光素子105まで導光する。こうすることで、光ファイバ104と受光素子105との高効率の光学的結合をなし、プラスチック光ファイバ等のコア径の大きい光ファイバからの出射光であっても、口径の小さいフォトダイオードに効率良く集光できるようにしている（特開平1

15 0-221573号公報の段落番号0008等、図1、3参照。）。

図25に示したような構造の場合、光ファイバから出射される光の開口数（NA）が変る、特に大きくなる場合、図26に示すように、光ファイバ104側に

20 出射光106が戻りやすくなり、結合効率が逆に低下するという欠点がある。また、このよう構造は口径に対する穴の深さのアスペクト比が大きく、反射膜を均一に蒸着するのが難しい等の製造上の問題がある。

#### 発明の開示

そこで、本発明の目的は、プラスチック光ファイバのような口径の大きい光ファイバと口径の小さい受光素子の光学的な結合を簡素な構成で効率良く行える光

25 通信システムを提供することにある。

本発明の一側面に係る光通信システムは、少なくとも一端側に球状端面を有し、この球状端面から出射する放射光の開口数が0.35以下である光ファイバと、受光素子を有し、上記光ファイバの球状端面からの放射光を受信する光通信モジュールとを備える。そして、上記光ファイバの上記一端側が上記光通信モジュー

ル内の所定箇所に挿入されたとき、上記受光素子の受光面は上記光ファイバの球状端面の頂点から距離  $d$  の位置にあり、光ファイバの直径を  $D$ 、球状端面の曲率半径  $R$  を  $r * D$ 、光ファイバのコアの屈折率を  $n$ 、上記光ファイバの球状端面と受光素子との間に存在する物質の屈折率を  $n_1$  とすると、上記距離  $d$  は、

5            受光素子の直径が  $D$  以下のとき、 $0 < d \leq r * D / (n - n_1)$  の範囲内にあり、

            受光素子の直径が  $D$  より大きいとき、 $D \leq d \leq r * D / (n - n_1)$  の範囲内にある。

10            尚、「光ファイバの直径」とは、コア径である。但し、S I 型のプラスチック光ファイバの場合には、クラッド部分が全直径の 2 % しかないため、光ファイバの直径はクラッド径と略等しくなる。

            光ファイバの端面を球状端面とし、距離  $d$  がこの範囲内にあるように受光素子を配置することにより、光ファイバの端面が平坦面である場合に比べて、受信結合効率を最高で 2 倍以上まで高めることができる。

15            ファイバの端面を球状に加工するということは、平坦な端面にファイバからの光が出射する方向に凸面を持った平凸レンズを取付けたのと同じ構造と考えることができる。 $r * D / (n - n_1)$  つまり  $R / (n - n_1)$  で求められる値は、曲率半径が  $R$ 、屈折率が  $n$  である平凸レンズの屈折率  $n_1$  の物質が充填された空間における焦点距離  $f$  である。

20            図 3 A - 3 C は、コアが PMMA 製（屈折率  $\approx 1.5$ ）のプラスチック光ファイバ 1 について空気中（ $n_1 = 1$ ）でシミュレーションを行ったときの光ファイバからの出射光  $L$  の広がり（ファースフィールドパターン FFP）と光ファイバ端面を加工して設けた球状端面 11 の曲率半径  $R (= r * D)$  の関係を示す概略図である。

25            マルチモード光ファイバ特に S I（ステップインデックス）型のマルチモード光ファイバをファイバの軸方向と垂直な面で切ると、そのニアフィールドパターンは均一強度の面光源と捕らえることができる。また、その均一強度の面光源を細分化した各点からの出射光の配向分布はガウス分布である。

            図 3 A - 3 C からわかるように、出射光が集光している位置はファイバの球

状端面の曲率半径により異なる。図 3 Aは球状端面の曲率半径 $R$ がファイバの直径 $D$ の倍即ち $R = 2 * D$ の場合を表しており、集光位置は球状端面の頂点から $4 D$ の位置にある。図 3 Bは球状端面の曲率半径 $R$ がファイバの直径 $D$ の $1.5$ 倍即ち $R = 1.5 * D$ の場合を示しており、集光位置は球状端面の頂点から $3 D$ の位置にある。そして、図 3 Cは球状端面の曲率半径 $R$ がファイバの直径 $D$ と同じ即ち $R = D$ のときで、集光位置は球状端面の頂点から $2 D$ の位置である。

平凸レンズの空気中での焦点距離 $f$ は、上記より、 $f = R / (n - 1)$ で表され、図 3 A - 3 Cに示したシミュレーション結果は、平凸レンズの屈折率を $1.5$ としたときの空気中での焦点距離 $f$ とほぼ一致する。

つまり、本発明は、光ファイバからの出射光の開口数 (NA) が $0.35$ 以下と小さい場合に、受光素子の受光面を上記焦点距離 $f$ 内に置くようにしたものである。但し、受光素子の直径が光ファイバの直径 $D$ よりも大きい場合には、発明者が種々行なった実験結果より、距離 $d$ が $D$ を越えるまでは、端面が平坦な光ファイバと同等の結合効率しか得られないことが判明したため、距離 $d$ は $D$ よりも大きくしている。したがって、光ファイバ端面から出射した放射光は平凸レンズ効果により集光されて再び広がる前に受光素子に入射するので、光ファイバの端面が平坦である場合に比べて、受光素子への結合効率が向上する。しかも、従来技術におけるような導光体を使用しないので、その分、光通信モジュールの製造が容易である。

出射光のNAが $0.35$ である光ファイバは主に伝送レートが $200 \sim 622$  Mb/s 程度の高速伝送で使用されるものである。通常、受光素子の径は伝送速度が高くなるほど、容量の関係から小さくする必要がある。また、伝送速度が高くなればなるほど使用する光ファイバの構造NAは小さくなる。それに伴い光ファイバから出射される光のNAも小さくなる。本発明は受光素子の径が小さく、光ファイバのNAが小さいプラスチック光ファイバを使用したとき、即ちプラスチック光ファイバを使用した数百Mb/sの高速伝送時に特に効果的である。

本発明の上記光通信システムにおいて、上記通信モジュールは、受光素子に加えて、上記光ファイバの球状端面からの放射光を上記受光素子へ導く受信光学系を有していてもよい。この場合、受光素子の受光面ではなく、受信光学系の中心

位置が、次の通り、受信光学系の大きさに応じて、上記光ファイバの球状端面から距離  $d$  の位置に配置されることになる。つまり、受信光学系は、上記光ファイバの球状端面から受信光学系の中心位置までの距離  $d$  が

受信光学系の大きさが  $D$  以下のとき、 $0 < d \leq r * D / (n - n_1)$ 、

5 受信光学系の大きさが  $D$  より大きいとき、 $D \leq d \leq r * D / (n - n_1)$

となるように配置される。

受信光学系の一例としては、例えば空気と屈折率の異なる物質で形成されたプリズム及びレンズ等の光を屈折させる部材や、ミラー等、光を反射させる部材により形成された受信光学系がある。受光素子の上に空気と屈折率の異なる透明モールド部材等が形成されている場合も、そのモールド部材を本願では受信光学系として扱う。

ここで、「受信光学系の中心位置」とは、光ファイバからの主光線の受信光学系への入射側主点を言う。

また、「受信光学系の大きさ」とは、円形の場合（たとえば集光レンズ）は光学的に光を集光する部分の直径であり、円形でない場合（たとえばプリズム）は光学的に光を集光する部分の代表的な寸法とする。

種々のシミュレーション結果より、上記距離  $d$  は、好ましくは、

受光素子の直径が  $D$  以下のとき、 $0 < d \leq 2D$  の範囲内にあるのがよく、

受光素子の直径が  $D$  より大きいとき、 $D \leq d \leq 2D$  の範囲内にあるのがよ

い。

また、本発明は、上記受光素子の直径（受信光学系が設けられている場合には、受信光学系の大きさ）は、光ファイバの直径  $D$  以下のとき、より効果的である。受光素子の直径（受信光学系が設けられている場合には、受信光学系の大きさ）が光ファイバの直径  $D$  より大きい場合に比べて、端面が平坦面である光ファイバと比べての結合効率向上の効果が顕著だからである。

また、本発明の別の側面による光通信システムは、少なくとも一端側に球状端面を有し、この球状端面から出射する放射光の開口数が  $0.4 \sim 0.6$  である光ファイバと、受光素子を有し、上記光ファイバの球状端面からの放射光を受信する光通信モジュールとを備える。そして、上記光ファイバの上記一端側が上記光

通信モジュール内の所定箇所に挿入されたとき、上記受光素子は上記光ファイバの球状端面の頂点から距離  $d$  の位置にあり、光ファイバの直径を  $D$  とすると、上記距離  $d$  は、

受光素子の直径が  $D$  以下のとき、 $0 < d < 2D$  の範囲内にあり、

5 受光素子の直径が  $D$  より大きいとき、 $0.5D < d < 2D$  の範囲内にある。

$0.4 \sim 0.6$  までの範囲の出射光の開口数、特に  $0.5$  の開口数は伝送レートが  $20 \sim 100 \text{ Mbps}$  程度の中速伝送に使用されるものである。

この光通信システムにおいて、上記通信モジュールは、受光素子に加えて、上記光ファイバの球状端面からの放射光を上記受光素子へ導く受信光学系を有して  
10 いてもよい。この場合、受光素子の受光面ではなく、受信光学系の中心位置が、次の通り、受信光学系の大きさに応じて、上記光ファイバの球状端面から距離  $d$  の位置に配置されることになる。つまり、受信光学系は、上記光ファイバの球状端面から受信光学系の中心位置までの距離  $d$  が

受信光学系の大きさが  $D$  以下のとき、 $0 < d < 2D$  の範囲内にあり、

15 受信光学系の大きさが  $D$  より大きいとき、 $0.5D < d < 2D$  の範囲内にあるように配置される。

光ファイバの端面を球状端面とし、距離  $d$  がこの範囲内にあるように受信光学系を配置することにより、光ファイバの端面が平坦面である場合に比べて、受信結合効率を最高で  $1.7$  倍程度まで高めることができる。

20 ここで、「受信光学系の中心位置」および「受信光学系の大きさ」の定義は、上述した通りである。

好ましくは、上記距離  $d$  は、本発明者の行なった種々のシミュレーション結果から、

25 受光素子の直径が  $D$  以下のとき、 $0 < d \leq 1.5D$  の範囲内にあるのがよく、

受光素子の直径が  $D$  より大きいとき、 $D \leq d < 1.5D$  の範囲内にあるのがよい。

また、好ましくは、開口数が  $0.35$  以下の場合と同様に、上記受光素子の直径（受信光学系が設けられている場合には、受信光学系の大きさ）は、光ファイ



バの直径D以下であるのがよい。受光素子の直径（受信光学系が設けられている場合には、受信光学系の大きさ）が光ファイバの直径Dより大きい場合に比べて、端面が平坦面である光ファイバと比べての結合効率向上の効果が顕著だからである。したがって、本発明を利用すれば小さい受光素子に光を集光しやすい小型の受信光学系を配置できる。この場合、本発明は一芯双方向通信において、より効果を発揮することができる。

一実施形態では、上記した各光通信モジュールは、発光素子と発信光学系とのうち少なくとも発光素子をさらに有し、上記光ファイバを介して相手方の光通信モジュールと一芯双方向通信方式で信号光を送受信できるようになっている。受光素子や受信光学系を小さくすることができるので、送信系と並列して配置する観点から効果的である。

前述したように、プラスチック光ファイバを使用した場合、一般的なファイバ径は0.5～2mmであるが、使い易さ即ち接続のし易さと、モード分散を抑える観点から、1mmのファイバ径のものが一般によく使用されている。一方、一般的にプラスチック光ファイバで使用される高速通信の伝送レートは100Mbps～622Mbpsで、その伝送レートに適したフォトダイオードの直径（以下、PD径とも言う。）は0.5mm以下、より詳しくは、0.3～0.5mmである。

一実施形態では、上記いずれかの通信システムにおいて、直径Dが1mmの光ファイバと、直径が0.5mm以下（例えば、0.3mm～0.5mm）の高速対応の小型フォトダイオードを組み合わせ使用している。このような光ファイバと受光素子の寸法の組み合わせは、本発明を適用することにより、平端面ファイバに比べて受信効率を大幅に高くすることができるので、効果的である。

また、受信光学系を設けている場合、直径Dが1mmの光ファイバを使用するときには、直前に述べたのと同じ理由により、受信光学系の大きさを0.5mm以下にするのが好ましい。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施形態である光通信システムの構成を概略的に示した図

である。

図 2 は、本発明の一実施形態である光通信システムの構成を概略的に示した図である。

図 3 A、3 B、3 C は、本発明の原理を説明する図である。

5 図 4 は、本発明の効果を示すグラフで、受光素子の直径が  $0.5D$ 、ファイバ出射 NA が  $0.35$  であるとき、球状端面ファイバを用いた場合の受信結合効率を平端面ファイバを用いた場合と比較したグラフである。

10 図 5 は、本発明の効果を示すグラフで、受光素子の直径が  $D$ 、ファイバ出射 NA が  $0.35$  であるとき、球状端面ファイバを用いた場合の受信結合効率を平端面ファイバを用いた場合と比較したグラフである。

図 6 は、本発明の効果を示すグラフで、受光素子の直径が  $1.5D$ 、ファイバ出射 NA が  $0.35$  であるとき、球状端面ファイバを用いた場合の受信結合効率を平端面ファイバを用いた場合と比較したグラフである。

15 図 7 は、本発明の効果を示すグラフで、受光素子の直径が  $0.5D$ 、ファイバ出射 NA が  $0.5$  であるとき、球状端面ファイバを用いた場合の受信結合効率を平端面ファイバを用いた場合と比較したグラフである。

図 8 は、本発明の効果を示すグラフで、受光素子の直径が  $D$ 、ファイバ出射 NA が  $0.5$  であるとき、球状端面ファイバを用いた場合の受信結合効率を平端面ファイバを用いた場合と比較したグラフである。

20 図 9 は、本発明の効果を示すグラフで、受光素子の直径が  $1.5D$ 、ファイバ出射 NA が  $0.5$  であるとき、球状端面ファイバを用いた場合の受信結合効率を平端面ファイバを用いた場合と比較したグラフである。

25 図 10 は、光ファイバ（出射 NA =  $0.35$ ）が球状端面を有する場合と平端面を有する場合の図 4 のグラフに示された受信結合効率の比較結果を 3 段階に分類してまとめた表である。

図 11 は、光ファイバ（出射 NA =  $0.35$ ）が球状端面を有する場合と平端面を有する場合の図 5 のグラフに示された受信結合効率の比較結果を 3 段階に分類してまとめた表である。

図 12 は、光ファイバ（出射 NA =  $0.35$ ）が球状端面を有する場合と平端

面を有する場合の図6のグラフに示された受信結合効率の比較結果を3段階に分類してまとめた表である。

図13は、光ファイバ（出射NA=0.5）が球状端面を有する場合と平端面を有する場合の図7のグラフに示された受信結合効率の比較結果を3段階に分類してまとめた表である。

図14は、光ファイバ（出射NA=0.5）が球状端面を有する場合と平端面を有する場合の図8のグラフに示された受信結合効率の比較結果を3段階に分類してまとめた表である。

図15は、光ファイバ（出射NA=0.5）が球状端面を有する場合と平端面を有する場合の図9のグラフに示された受信結合効率の比較結果を3段階に分類してまとめた表である。

図16は、本発明の効果を示すグラフで、受光素子の直径が0.5D、ファイバ出射NAが0.35であるとき、球状端面ファイバを用いた場合の受信結合効率を平端面ファイバを用いたときと比較したグラフである。

図17は、本発明の効果を示すグラフで、受光素子の直径が0.5D、ファイバ出射NAが0.5である場合において、球状端面ファイバを用いたときの受信結合効率を平端面ファイバを用いたときと比較したグラフである。

図18は、本発明の効果を示すグラフで、受信結合効率のPD径依存性を示すグラフである。

図19は、本発明の効果を示すグラフで、受信結合効率の実測値とシミュレーションで求めた値との比較を示す。

図20は、本発明の一実施形態である一芯双方向通信方式の光通信システムの構成を概略的に示した図である。

図21は、図20の光通信システムの一部（光ファイバ端面付近）を拡大して示した概略図である。

図22は、一芯双方向通信方式の光通信システムにおける光学系の寸法および位置と、送／受信光の光ファイバ端面／受信光学系との結合との関係を示す説明図である。

図23は、一芯双方向通信方式の光通信システムにおける光学系の寸法および

位置と、送／受信光の光ファイバ端面／受信光学系との結合との関係を示す説明図である。

図 2 4 は、一芯双方向通信方式の光通信システムにおける光学系の寸法および位置と、送／受信光の光ファイバ端面／受信光学系との結合との関係を示す説明図である。

図 2 5 は、従来の技術の説明図である。

図 2 6 は、図 2 5 に示した従来の技術の問題点を説明する図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明を図示の実施形態により詳細に説明する。

##### (第 1 実施形態)

図 1 は本発明の光通信システムの一実施形態として一方向通信を行なう光通信システムの一例を概略的に示したものである。この光通信システムは、光ファイバ 1 と、この光ファイバ 1 を介して信号光の送受信を行なう 1 対の光通信モジュール 2 A、2 B とを備えている。光通信モジュール 2 B は半導体レーザ装置 (LD) または発光ダイオード (LED) からなる発光素子 2 2 を備えて送信モジュールとして機能する一方、光通信モジュール 2 A はフォトダイオード (PD) からなる受光素子 2 1 を備えて受信モジュールとして機能する。図面を簡単にするため、受・発光素子の保持部分等、発明に直接関係しない部分は図 1 から省いている。

光ファイバ 1 は、コアが PMMA 製 (屈折率: 略 1.5) のプラスチック光ファイバであり、両端面がそれぞれ曲率半径  $R$  を有する球状端面 1 1 となっている。但し、受信側の端面のみを球状端面 1 1 としてもよい。また、光ファイバ 1 は PMMA 以外のプラスチック材料からなるものであってもよい。光ファイバの球状端面 1 1 は溶融あるいは研磨によって作成できる。

光ファイバ 1 の端部が光通信モジュール 2 A 内に挿入されて所定箇所に設置されたとき、受光素子 2 1 の受光面は、光ファイバ 1 の球状端面 1 1 の頂点から距離  $d$  だけ離れた位置にある。この距離  $d$  は、光ファイバ 1 の球状端面 1 1 から出射する放射光の開口数 (以下、「出射 NA」とも言う。) と受光素子であるフォ

トダイオード21の直径（以下、「PD径」とも言う。）に応じて設定される値である。

具体的に言うと、光ファイバ1の出射NAが高速伝送つまり200～622 Mb/sの伝送レートで使用する0.35以下の場合、距離dは

5 受光素子の直径がD以下のとき、

$$0 < d \leq r * D / (n - n_1) \dots (1)$$

の範囲内にあり、

受光素子の直径がDより大きいとき、

$$D \leq d \leq r * D / (n - n_1) \dots (2)$$

10 の範囲内にあるように設定されている。ここで、Dは光ファイバ1の直径（コア径）、 $r * D$ は球状端面11の曲率半径RをDを用いて表したものの、nは光ファイバ1のコアの屈折率、そして、 $n_1$ は光ファイバ1の球状端面11と受光素子21との間に存在する物質の屈折率である。本実施形態の場合、光ファイバ1の球状端面11と受光素子21との間に存在する物質は空気である。したがって、

15  $n_1$ は1である。また、光ファイバ1のコア材料であるPMMA（ポリメチルメタクリレート）の屈折率は略1.5（ここでは、1.5として計算する）である。したがって、上記関係式（1）、（2）はそれぞれ、

$$0 < d \leq 2r * D \dots (1')$$

$$D \leq d \leq 2r * D \dots (2')$$

20 と書き表すことができる。

式（1'）は、受光素子21の受光面が、光ファイバ1の球状端面11に接触しておらず、しかも、球状端面11の曲率半径の2倍に相当する距離を超えては光ファイバ1の球状端面11から離れていないことを示している。式（2'）は、受光素子21の受光面が、光ファイバ1の直径に相当する距離以上だけ光ファイバ1の球状端面11から離れているが、球状端面11の曲率半径の2倍に相当する距離を超えては光ファイバ1の球状端面11から離れていないことを示している。

25 一方、光ファイバ1の出射NAが中速伝送つまり100～200 Mb/s程度の伝送レートで使用する0.5付近（つまり0.4～0.6）の場合には、距

離  $d$  は

受光素子の直径が  $D$  以下のとき、

$$0 < d < 2D \dots (3)$$

の範囲内にあり、

5 受光素子の直径が  $D$  より大きいとき、

$$0.5D < d < 2D \dots (4)$$

の範囲内にあるように設定されている。

図 4～6 は、図 1 の構成を有する光通信システムにおいて、光ファイバ 1 の出射 NA が 0.35 の場合の受信結合効率の端面－受信器間距離依存性を平端面ファイバの場合と比較したグラフであり、各パラメータはファイバ径  $D$  を用いて表されている。より詳しくは、グラフの縦軸に示された受信結合効率は、ファイバ出射端面が平坦面のとき  $1/e^2$  ( $\approx 0.135$ ) の強度で規定された光ファイバからの出射光の開口数が 0.35 で、200～500 Mbps の伝送レートで光源に半導体レーザ (LD) を使用し、伝送媒体に低 NA の高速通信グレードのプラスチック光ファイバ (コアの屈折率  $n = 1.5$ ) を使用した場合の受信結合効率であり、ファイバ端面が平坦面であるときの結合効率との比の形であらわしている (つまり、結合効率 1 はファイバ端面が平坦面であるときの結合効率である。)。横軸は、端面－受信器間距離をファイバ径  $D$  との比の形で表したものである。また、パラメータである端面曲率半径  $R$  および PD 径は、ファイバ径  $D$  を用いて表されている。図 4 は PD 径が  $0.5D$  のとき、図 5 は PD 径が  $1D$  のとき、図 6 は PD 径が  $1.5D$  のときを示す。また、◆、■、▲ はそれぞれ端面曲率半径  $R$  が  $2D$ 、 $1.5D$ 、 $D$  の場合を表している。なお、「受信器」とは、この場合には、フォトダイオード 21 のことを言う。

また、図 10－11 は図 4－6 のグラフに示した受信結合効率に関する効果を 3 段階に分類して表示したものである。○ は受信結合効率が平端面ファイバに比べて 1.01 倍以上であることを示す。△ は、受信結合効率が平端面ファイバに比べて 0.99～1.01 倍であることを示す。× は受信結合効率が平端面ファイバに比べて 0.99 倍以下であることを示す。

これらの図面より、図 3A－3C に示した球状端面の曲率半径  $R (= r * D)$

で決まる焦点位置（この場合には、 $n = 1.5$ 、 $n_1 = 1$ であるため、 $f = r * D / 0.5 = 2r * D$ となる。）に相当する位置までは、ファイバ端面が平坦面の場合に対し受信効率が向上しているのがわかる。ただしその効果はPD径がより小さい場合に対して効果的である。そして、PD径が $0.5D$ のとき、端面の曲率半径 $R$ が小さいほど、受信効率を大きくできることもわかる。いずれにしても、PD径がファイバ径 $D$ 以下の場合、ほぼファイバ端面の位置から上記焦点位置に相当する位置まで受信効率向上の効果がある。

一方、PD径がファイバ径 $D$ より大きい場合は、ほぼファイバ端面から $1D$ だけ離れた位置から球状端面の曲率半径 $R (= r * D)$ で決まる焦点位置に相当する位置まで受信効率向上の効果があることがわかる。

図7～9は、ファイバ出射端面が平坦面のとき $1/e^2$ の強度で規定されたファイバ出射NAが $0.5$ に相当する場合の図4～6と同様のグラフである。但し、この場合は、 $100 \sim 200 \text{ Mbps}$ の伝送レートで光源（発光素子）にLEDを使用し、伝送媒体にNA $0.5$ 付近の通信グレードのプラスチック光ファイバ（コアの屈折率 $n = 1.5$ ）を使用した。図7はPD径が $0.5D$ のとき、図8はPD径が $1D$ のとき、図9はPD径が $1.5D$ のときを示す。

また、図13～15は図7～9のグラフに示した受信結合効率に関する効果を3段階に分類して表示したものである。図10～12と同様、○は受信結合効率が平端面ファイバに比べて $1.01$ 倍以上であることを示す。△は、受信結合効率が平端面ファイバに比べて $0.99 \sim 1.01$ 倍であることを示す。×は受信結合効率が平端面ファイバに比べて $0.99$ 倍以下であることを示す。

図7～9および図13～15からわかるように、この場合の受信効率向上の効果は、 $1/e^2$ の強度で規定されたファイバからの出射光のNAが $0.35$ の場合に比べて小さくなるが、PD径がファイバ径 $D$ より小さいときは、ファイバ端面付近より $2D$ の位置まではファイバ端面が平坦面の場合に対し受信効率が向上しているのがわかる。そして、この場合も、PD径がファイバ径 $D$ より小さいときは、端面の曲率半径 $R$ が小さいほど、受信効率を大きくできることがわかる（但し、距離 $d$ が $1D$ までのところにおいて）。また、PD径がファイバ径 $D$ より大きくなった場合も、ファイバ端面 $D$ 付近から $2D$ の位置までの範囲において、

程度は小さくなるものの受信効率向上の効果があることがわかる。

図16と図17は受光素子21の直径が0.5Dの場合で、ファイバ出射端面が平坦面のとき $1/e^2$ の強度で規定されたファイバからの出射NAが0.35と0.5にそれぞれ相当するとき、ファイバ球状端面11の曲率半径Rを変えたときの受信結合効率の距離依存性をファイバ端面が平坦面であるときと比較したグラフである。これらのグラフから、ファイバ端面が球状端面である場合には、ファイバ端面が平坦面である場合に比べて、上記式(1)、(3)で定義された距離範囲内で受信効率(結合効率)を大きくできることがわかる。中でも、球状端面11の曲率半径RがDで、距離dが0.5D近傍にあるときに、光ファイバからの出射光のNAが0.35であっても0.5であっても、平端面ファイバに比べて大幅に結合効率が向上しているのがわかる。また、距離dが所定の範囲内にあるとき、同じ距離dに対しては、端面の曲率半径Rは小さいほど、つまり、曲率が大きいほど、結合効率は高くなると言える。

図18は、ファイバ出射端面が平坦面のとき $1/e^2$ の強度で規定されたファイバからの出射NAが0.35に相当する場合に、距離dをパラメータとして、受信効率の受光素子径(PD径)への依存性をプロットしたグラフである。図18から、PD径が小さいほど、特にPD径がファイバ径1Dより小さいときに効果的であることがわかる。そして、PD径がファイバ径1Dよりも小さい場合、特に、略0.9D以下の場合には、距離dは1.5Dよりも1Dの方が高い受信効率が得られることがわかる。PD径がファイバ径Dより小さいときには、距離dは1Dまでの値に設定した方が効果的であると言える。

図19はファイバ出射端面が平坦面のとき $1/e^2$ の強度で規定された光ファイバ1からの出射NAが0.35に相当、光ファイバ径1mm、ファイバ球状端面11の曲率半径が1.5mm、PD径1mmの場合に、計算値と実測結果とを比較したグラフである。両者はほぼ一致し同じ傾向を示している。横軸に示される端面-受信器間距離(つまり、距離d)が0~3mmの範囲では30%を超える結合効率が得られ、距離dが短くなって受光素子21が光ファイバの端面11に近接するほど、結合効率が100%に近づくのが確かめられた。

前述したように、プラスチック光ファイバを使用した場合、一般的なファイバ



径は0.5～2mmであるが、使い易さ即ち接続のし易さと、モード分散を抑える観点から、一般に1mmのファイバ径のものが使用される。一方、一般的にプラスチック光ファイバで使用される高速通信の伝送レートは100Mbps～622Mbpsで、その伝送レートに適したPD径は0.3～0.5mmである。

5 このファイバ径とPD径の組合せは、本発明の効果が最も引き出せる範囲とほぼ一致する。

#### (第2実施形態)

図2は本発明の光通信システムの第2実施形態の概略図である。この第2実施形態は各通信モジュール2A、2Bに光学系を設けた点が第1実施形態と異なる。

10 図2において、図1に示した構成部分と同様の構成部材には図1で使用したのと同じ参照番号を付している。図2中、参照番号25、26はそれぞれ受信光学系、送信光学系である。受信光学系25は、受光素子21と光ファイバ1の球状端面11との間に配置されて、球状端面11からの放射光を受光素子21へ導く働きをする。また、発信光学系26は、発光素子22から出射された光を光ファイバ1の端面へ導く働きをする。これら受信光学系25および発信光学系26には、

15 例えば空気と屈折率の異なる物質で形成されたプリズム及びレンズ等の光を屈折させる部材や、ミラー等光を反射させる部材等が含まれる。なお、本願では、受光素子21の上に空気と屈折率の異なる透明モールド部材（図示せず）が形成されている場合、そのモールド部材も受信光学系25の構成要素とみなしている。

20 このような受信・発信光学系は当業者には広く知られているものであるため具体的構成についてはここでは詳細には記述しない。受信光学系25として、透明モールド部材でレンズ部分を一体に形成してもよい。

上記第1の実施形態において受光素子21と光ファイバ1の球状端面11との間に成立した関係式(1)～(4)は、第2の実施形態では、受信光学系25と

25 光ファイバ1の球状端面11との間に成立している。つまり、第1の実施形態においては、光ファイバ1の球状端面11の頂点から受光素子21の受光面までの距離をdとして式(1)～(4)で規定したが、この第2の実施形態においては、光ファイバ1の球状端面11の頂点から受信光学系25の中心位置までの距離をdとして式(1)～(4)で規定している。また、第1実施形態では、光ファイ

バ 1 の球状端面 1 1 から出射する放射光の開口数 (NA) と、受光素子 2 1 の直径 (PD 径) とに応じて、式 (1) ~ (4) のいずれかを適用したが、この第 2 実施形態では、受光素子 2 1 の直径の代わりに受信光学系 2 5 の大きさに応じて式 (1) ~ (4) が適用される。

5       なお、「受信光学系 2 5 の中心位置」とは、上述したように、光ファイバ 1 からの主光線の受信光学系 2 5 への入射側主点とする。また、「受信光学系の大きさ」とは、集光レンズのように円形の場合には、光学的に光を集光する部分の直径であり、円形でない場合には、光学的に光を集光する部分の代表的な寸法とする。たとえば、円形でない光学系としては、楕円ミラーがあり、この場合には、  
10       楕円ミラー入射側主点での光軸に垂直な断面の平均寸法をこの光学系の大きさとする。

      第 2 実施形態の場合にも、第 1 実施形態と同様の受信効率向上の効果が得られた。本発明を利用すれば小さい受光素子に光を集光しやすい小型の受信光学系を配置することができる。

15       (第 3 実施形態)

      図 2 0 は本発明の第 3 実施形態である一芯双方向光通信方式を採用した光通信システムの概略構成図であり、図 2 1 は図 2 0 の一部を拡大して示した図である。図 2 0 において、図 1、2 に示した構成部分と同様の構成部分には図 1、2 で使用したのと同じ参照番号を付して、詳細な説明は省略する。

20       第 1、2 実施形態の光通信システムが一方向通信方式を採用していて、協働する 2 つの光通信モジュール 2 A、2 B が受光素子と発光素子の一方しか搭載していないのに対して、この第 3 実施形態の光通信システムをプラスチック光ファイバ 1 と共に構成する 2 つの光通信モジュール 2 A、2 B はいずれも、発光素子 2 2 と受光素子 2 1 の両方を備えて、送受信モジュールとして機能する。光通信モ  
25       ジュール 2 A、2 B は、さらに送信光学系 2 6 と受信光学系 2 5 をも備えている。受発光素子 2 1、2 2 および受送信光学系 2 5、2 6 は、光ファイバ端面 1 1 からの出射光の NA と受信光学系 2 5 の大きさに応じて受信光学系 2 5 の中心位置が上述の式 (1) ~ (4) のいずれかを満たすように配置されている。

      光学系 2 5、2 6 を用いないで、受発光素子 2 1、2 2 を光ファイバ端面 1 1

に直接対向させてもよいが、受発光素子 2 1、2 2 自体の占有面積がその保持部分まで含めると光ファイバ端面 1 1 に対しかなり大きなものとなるため、送受信を分割する場合はそのような配置は、可能でなくはないが、余り現実的とは言えない。

5       そこで、通常、一本の光ファイバで送受信を行う場合は、小さい光ファイバ端面で効果的に送受信光を分割するために、光ファイバ端面と受発光素子間に受発光素子へ光路を変換するための光学系が設けられる。送受信光学系は小さい光ファイバ端面に対応して小型である必要がある。ただし、受信光学系があまりに小さすぎると、何の措置も取らない場合、受信光のロスが大きくなる。例えば図 2 2 に示すように、受信光 1 5 の半分は送信光学系 2 6 に蹴られてしまう。一方、図 2 3 のように受信光学系 2 5 を大きくすると、送信光 1 6 が光ファイバ端面 1 1 に結合しない場合がある。図 2 4 のように光ファイバ端面 1 1 から大きく距離をとって送受信光学系を配置した場合は、比較的大きな受信光学系 2 5 を使用しても送信光 1 6 の NA さえ小さくすれば 1 本の光ファイバを使用しての送受信は可能である。しかしながら、受信光 1 5 が広がってしまい、高速対応の小さい P D (受光素子) 2 1 への結合が困難になるという問題が生ずる。

15       しかし、本実施形態では、受信光学系 2 5 を第 2 実施形態で説明したように、光ファイバ端面 1 1 からの出射光の NA と受信光学系 2 5 の大きさに応じて、上記式 (1) から (4) のいずれかを満たす位置に配置しているので、送信光学系 2 6 で蹴られる分はしかたないが、受信光学系 2 5 が小型であっても効率よく受光し、受光素子 2 1 であるフォトダイオードへ受信光 1 5 を導くことが出来る。

20       以上、本発明を 3 つの実施形態を通じて説明したが、特許請求の範囲に記載した構成以外の構成は、材料も含めて、上記実施形態で述べたものに限定されることがなく、適宜変更・追加できることは言うまでもない。

25       以上から明らかなように、本発明によると、伝送媒体として口径の大きいプラスチック光ファイバを使用し、受光素子を高速通信対応の小型受光素子としても、簡単な構成で光学的に高い結合効率を得ることができる。特に、プラスチック光ファイバの直径が一般的によく使用される 1 mm で、受光素子が直径 0.5 mm 以下の高速対応の小型フォトダイオードであるとき、受信効率を高くすることが

でき効果的である。

また、本発明は、通信方式が一本の光ファイバを介して双方向通信を行う一芯双方向光通信方式であるとき、受光素子や受信光学系を小さくすることができるので、送信系と並列して配置する観点から効果的である。

## 請求の範囲

1. 少なくとも一端側に球状端面（11）を有し、この球状端面から出射する放射光の開口数が0.35以下である光ファイバ（1）と、

5 受光素子（21）を有し、上記光ファイバの球状端面からの放射光を受信する光通信モジュール（2A）とを備え、

上記光ファイバの上記一端側が上記光通信モジュール内の所定箇所に挿入されたとき、上記受光素子の受光面は上記光ファイバの球状端面の頂点から距離dの位置にあり、

10 光ファイバの直径をD、球状端面の曲率半径Rを $r * D$ 、光ファイバのコアの屈折率をn、上記光ファイバの球状端面と受光素子との間に存在する物質の屈折率を $n_1$ とすると、上記距離dは、

受光素子の直径がD以下のとき、 $0 < d \leq r * D / (n - n_1)$  の範囲内にあり、

15 受光素子の直径がDより大きいとき、 $D \leq d \leq r * D / (n - n_1)$  の範囲内にあることを特徴とする光通信システム。

2. 少なくとも一端側に球状端面（11）を有し、この球状端面から出射する放射光の開口数が0.35以下である光ファイバ（1）と、

20 受光素子（21）と、上記光ファイバの球状端面からの放射光を上記受光素子へ導く受信光学系（25）とを有して、上記光ファイバの球状端面からの放射光を受信する光通信モジュール（2A）とを備え、

上記光ファイバの上記一端側が上記光通信モジュール内の所定箇所に挿入されたとき、上記受信光学系の中心位置は上記光ファイバの球状端面の頂点から距離dの位置にあり、

25

光ファイバの直径をD、球状端面の曲率半径Rを $r * D$ 、光ファイバのコアの屈折率をn、上記光ファイバの球状端面と上記受信光学系との間に存在する物質の屈折率を $n_1$ とすると、上記距離dは、

受信光学系の大きさがD以下のとき、 $0 < d \leq r * D / (n - n_1)$  の範

囲内にあり、

受信光学系の直径が $D$ より大きいとき、 $D \leq d \leq r * D / (n - n_1)$ の範囲内にあることを特徴とする光通信システム。

- 5      3. 少なくとも一端側に球状端面 (11) を有し、この球状端面から出射する放射光の開口数が $0.4 \sim 0.6$ である光ファイバ (1) と、

受光素子 (21) を有し、上記光ファイバの球状端面からの放射光を受信する光通信モジュール (2A) とを備え、

- 10      上記光ファイバの上記一端側が上記光通信モジュール内の所定箇所に挿入されたとき、上記受光素子の受光面は上記光ファイバの球状端面の頂点から距離 $d$ の位置にあり、

光ファイバの直径を $D$ とすると、上記距離 $d$ は、

受光素子の直径が $D$ 以下のとき、 $0 < d < 2D$ の範囲内にあり、

- 15      受光素子の直径が $D$ より大きいとき、 $0.5D < d < 2D$ の範囲内にあることを特徴とする光通信システム。

4. 少なくとも一端側に球状端面 (11) を有し、この球状端面から出射する放射光の開口数が $0.4 \sim 0.6$ である光ファイバ (1) と、

- 20      受光素子 (21) と、上記光ファイバの球状端面からの放射光を上記受光素子へ導く受信光学系 (25) とを有して、上記光ファイバの球状端面からの放射光を受信する光通信モジュール (2A) とを備え、

上記光ファイバの上記一端側が上記光通信モジュール内の所定箇所に挿入されたとき、上記受信光学系の中心位置は上記光ファイバの球状端面の頂点から距離 $d$ の位置にあり、

- 25      光ファイバの直径を $D$ とすると、上記距離 $d$ は、

受信光学系の大きさが $D$ 以下のとき、 $0 < d < 2D$ の範囲内にあり、

受信光学系の大きさが $D$ より大きいとき、 $0.5D < d < 2D$ の範囲内にあることを特徴とする光通信システム。

5. 請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 つに記載の光通信システムにおいて、  
上記光ファイバ（1）はプラスチック光ファイバであることを特徴とする光通信システム。

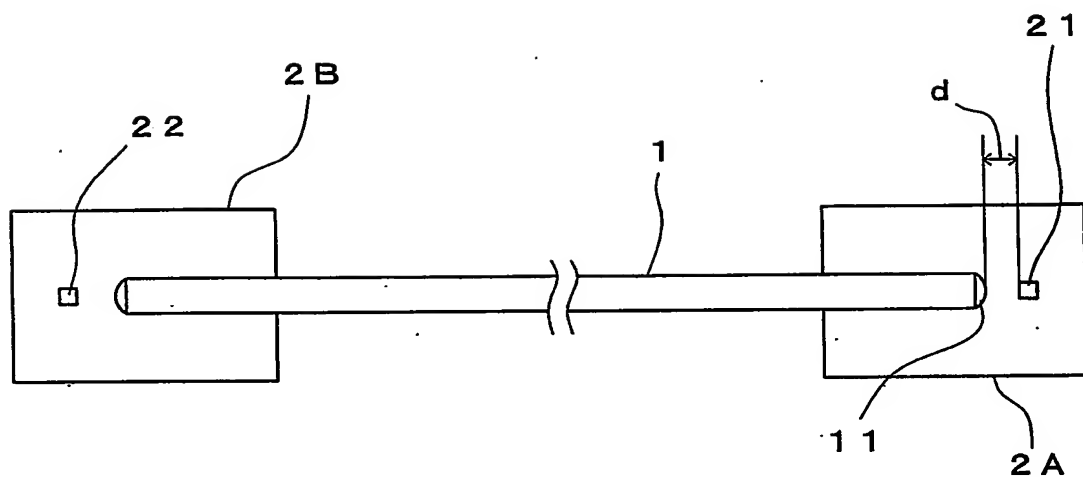
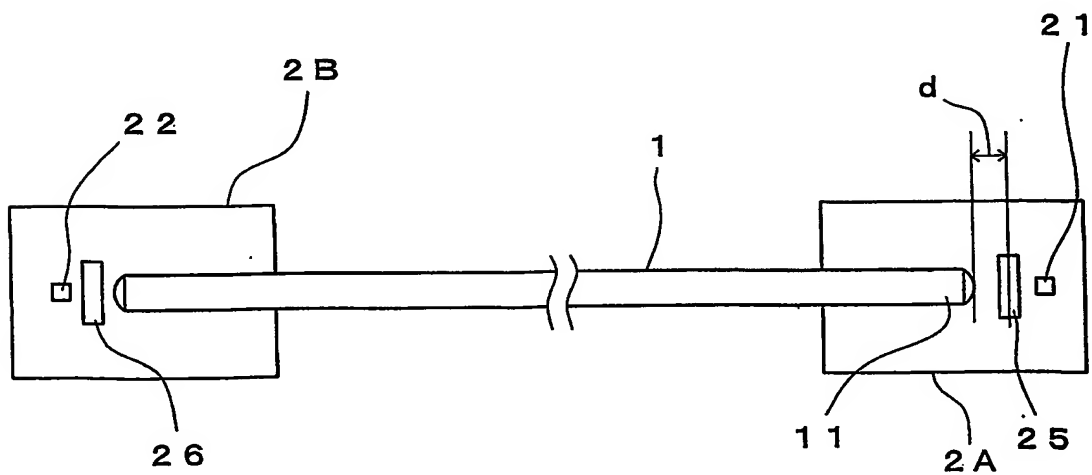
5 6. 請求項 1 または 2 に記載の光通信システムにおいて、  
上記物質は屈折率  $n_i$  が 1 である空気であることを特徴とする光通信システム。

7. 請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 つに記載の光通信システムにおいて、  
上記光ファイバ（1）の直径  $D$  は 1 mm で、上記受光素子は直径が 0.5 mm  
10 以下のフォトダイオードであることを特徴とする光通信システム。

8. 請求項 3 または 4 に記載の光通信システムにおいて、  
上記光ファイバ（1）の直径  $D$  は 1 mm で、上記受信光学系の大きさは 0.5 mm 以下であることを特徴とする光通信システム。

15

9. 請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 つに記載の光通信システムにおいて、  
上記光通信モジュール（2 A）は発光素子（2 2）と発信光学系（2 6）との  
うち少なくとも発光素子をさらに有し、上記光ファイバを介して相手方の光通信  
モジュール（2 B）と一芯双方向通信方式で信号光を送受信できるようになって  
20 いることを特徴とする光通信システム。

*Fig. 1**Fig. 2*



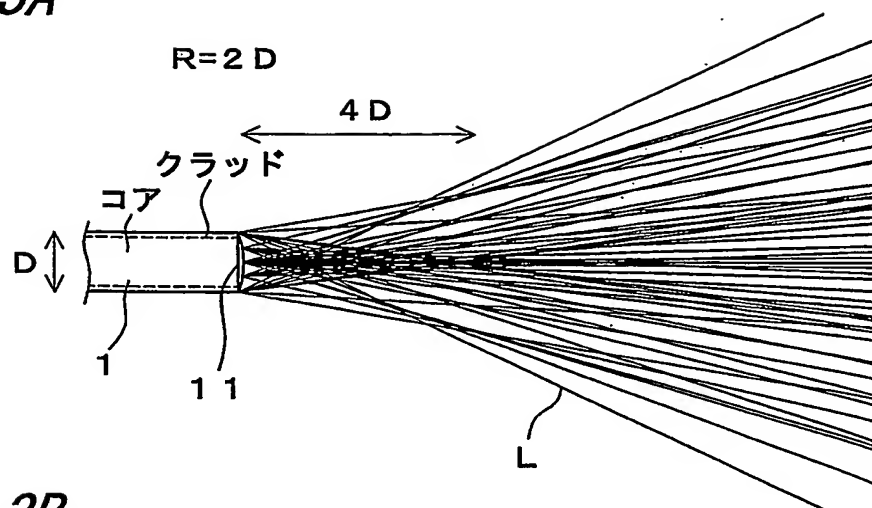
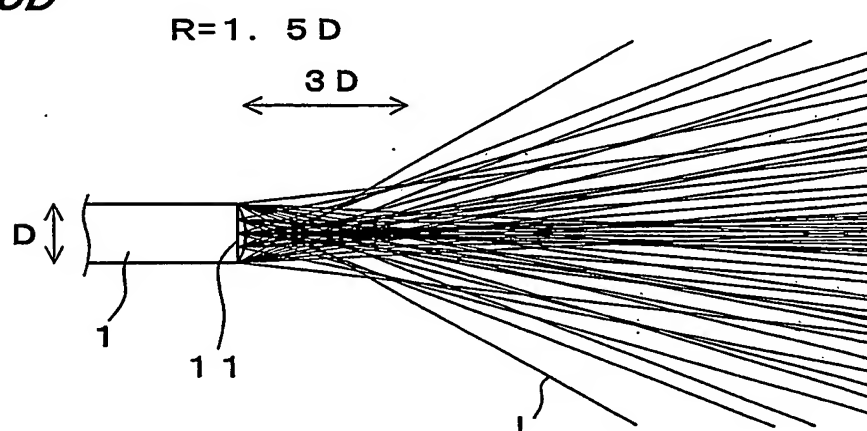
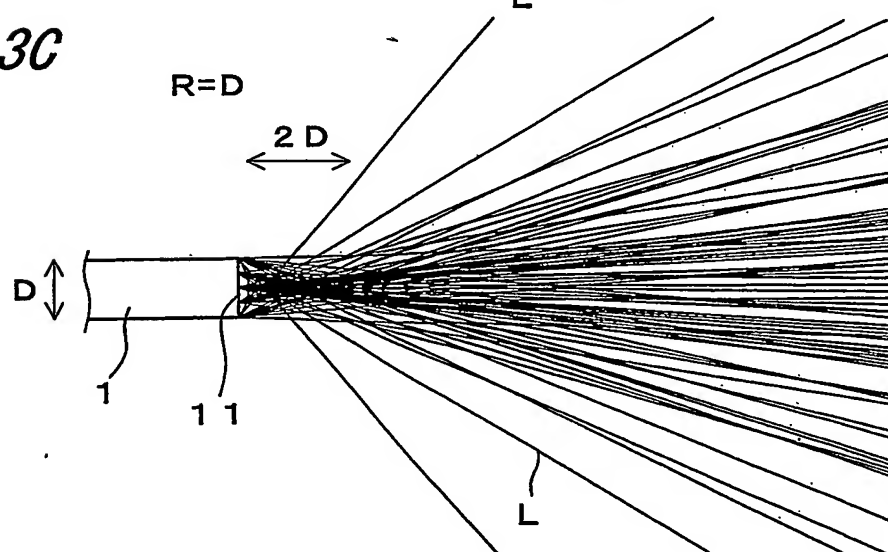
*Fig. 3A**Fig. 3B**Fig. 3C*

Fig. 4

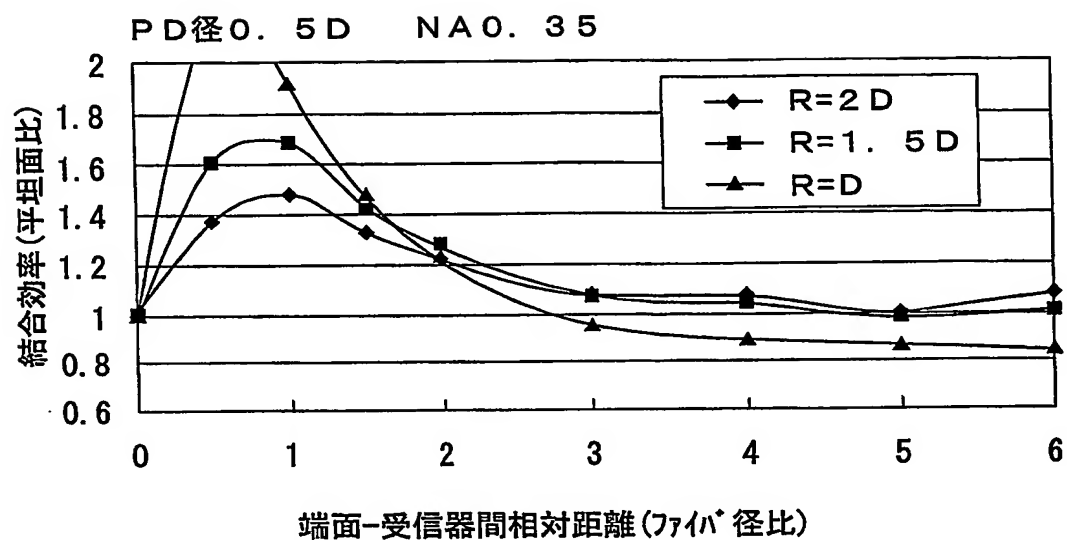


Fig. 5

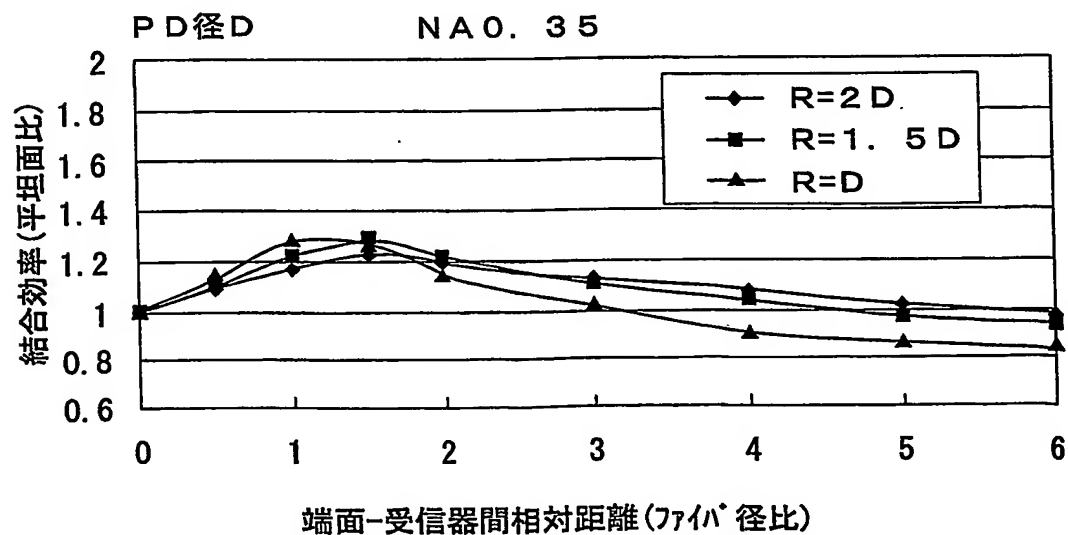


Fig. 6

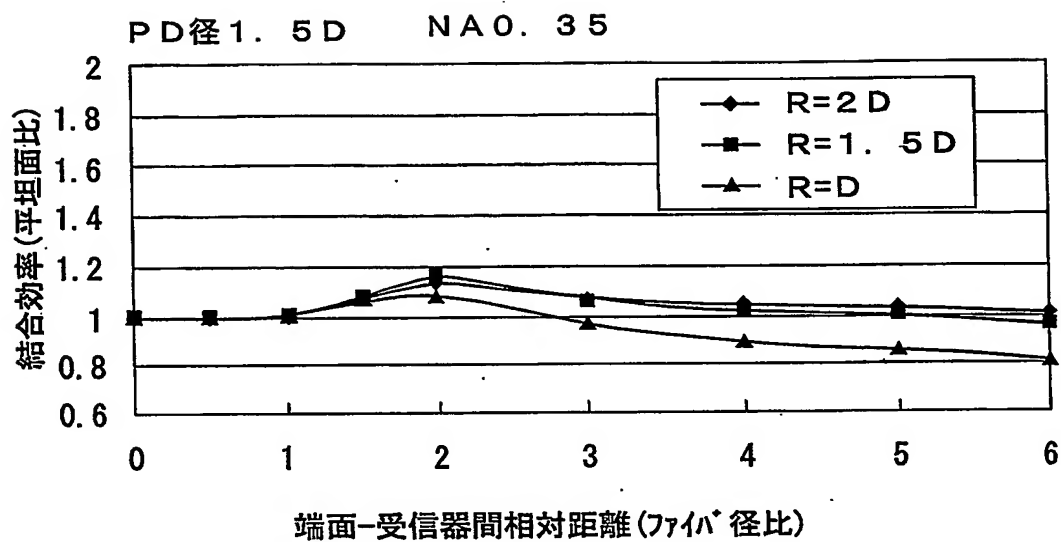


Fig. 7

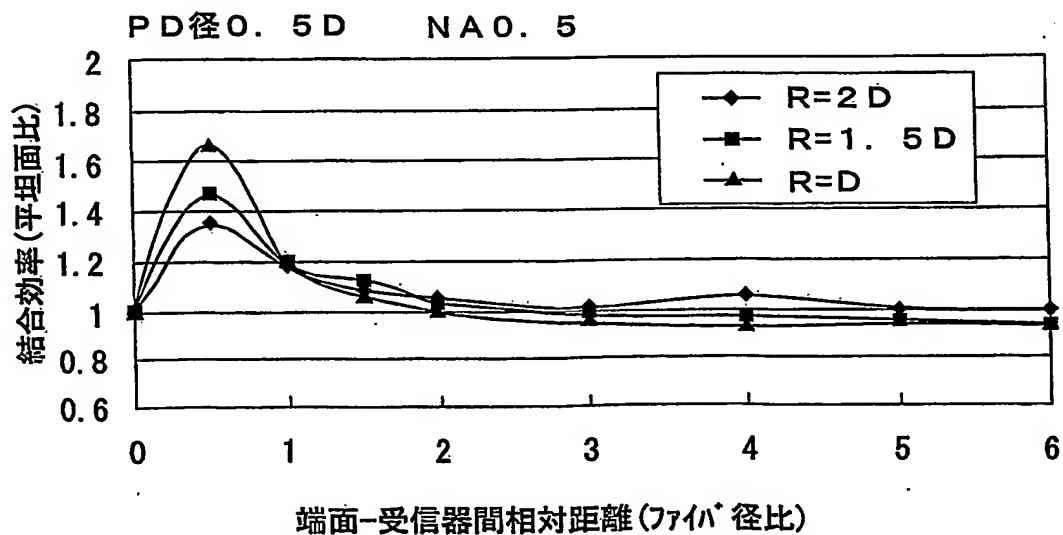


Fig. 8

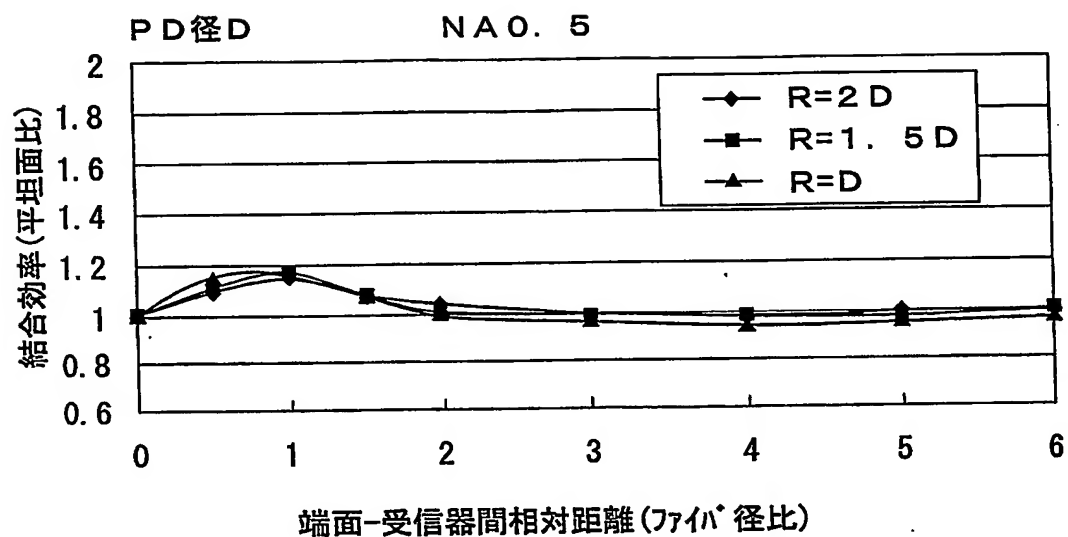
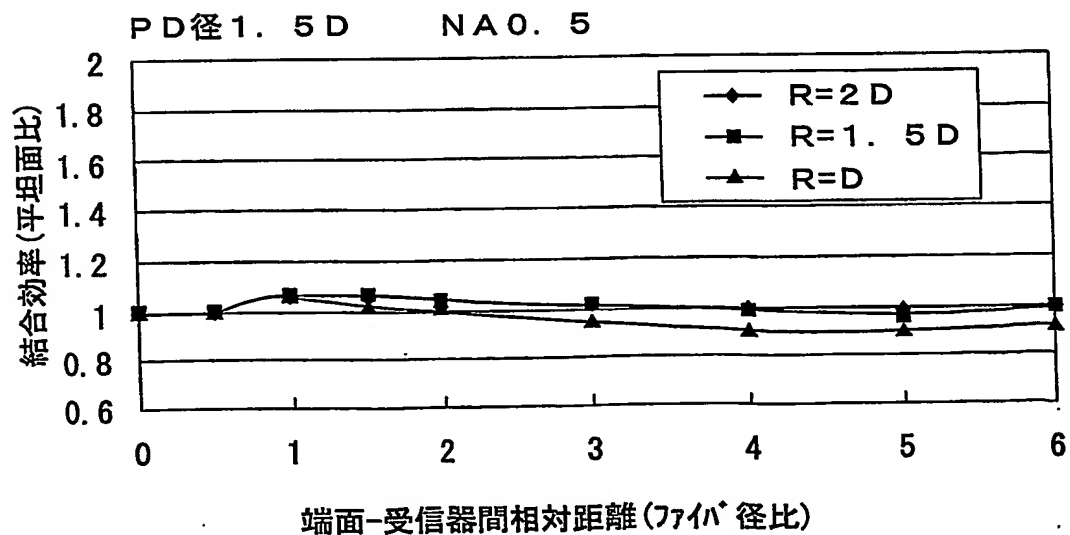


Fig. 9



*Fig. 10*

PD径0.5D    NA0.35

R \ d	0.5D	D	1.5D	2D	3D	4D	5D
D	○	○	○	○	×	×	×
1.5D	○	○	○	○	○	△	×
2D	○	○	○	○	○	○	△

*Fig. 11*

PD径D    NA0.35

R \ d	0.5D	D	1.5D	2D	3D	4D	5D
D	○	○	○	○	△	×	×
1.5D	○	○	○	○	○	△	×
2D	○	○	○	○	○	○	△

*Fig. 12*

PD径1.5D    NA0.35

R \ d	0.5D	D	1.5D	2D	3D	4D	5D
D	△	△	○	△	×	×	×
1.5D	△	△	○	○	○	△	×
2D	△	△	○	○	○	○	△

*Fig. 13*

PD径0.5D    NA0.5

R \ d	0.5D	D	1.5D	2D	3D	4D	5D
D	○	○	○	△	×	×	×
1.5D	○	○	○	△	×	×	×
2D	○	○	○	○	△	○	△

*Fig. 14*

PD径D    NA0.5

R \ d	0.5D	D	1.5D	2D	3D	4D	5D
D	○	○	○	△	×	×	×
1.5D	○	○	○	△	△	△	△
2D	○	○	○	○	△	△	△

*Fig. 15*

PD径1.5D    NA0.5

R \ d	0.5D	D	1.5D	2D	3D	4D	5D
D	△	○	○	△	×	×	×
1.5D	△	○	○	○	△	△	×
2D	△	○	○	○	△	△	△

Fig. 16

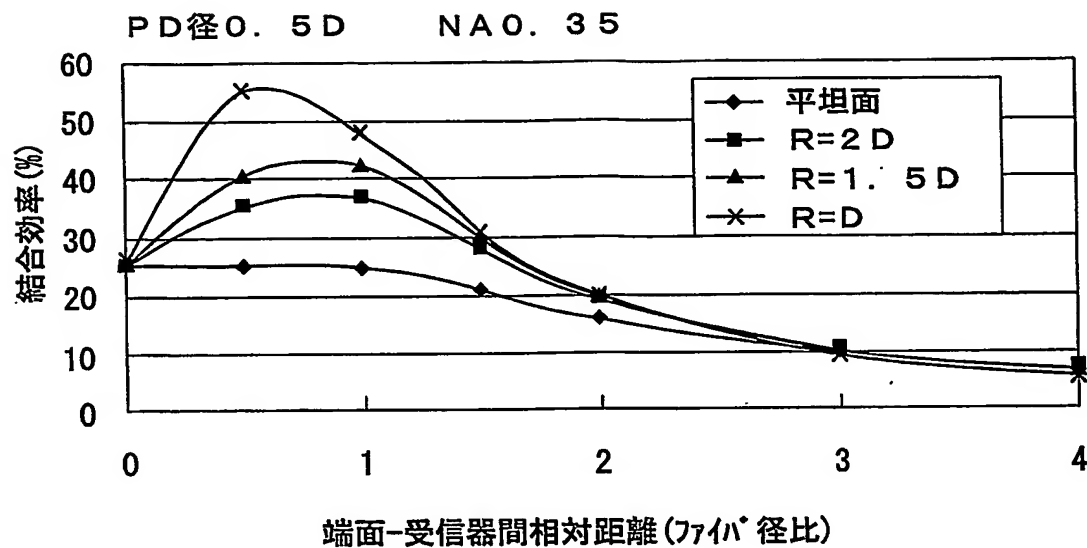


Fig. 17

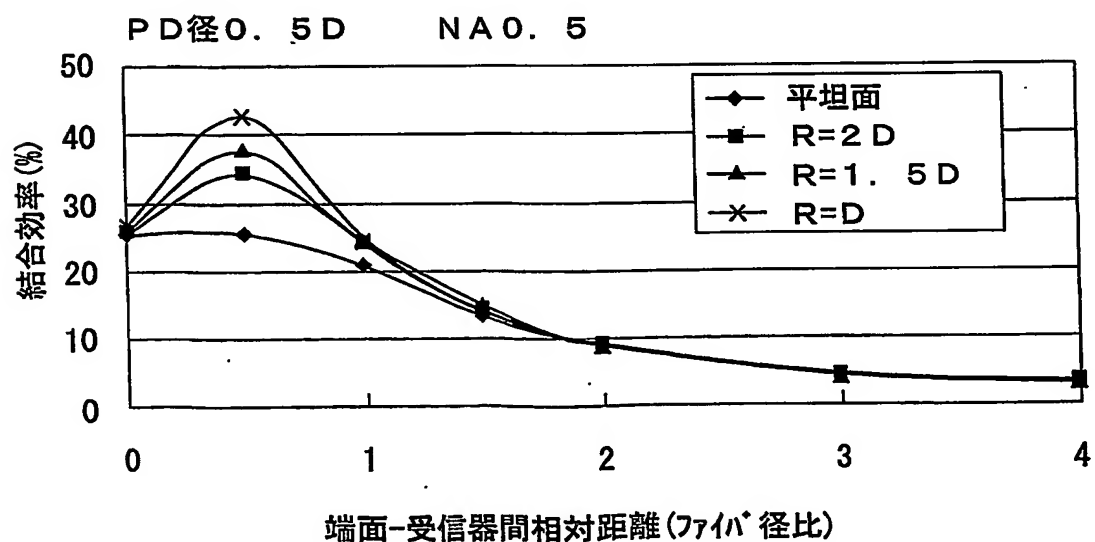


Fig. 18

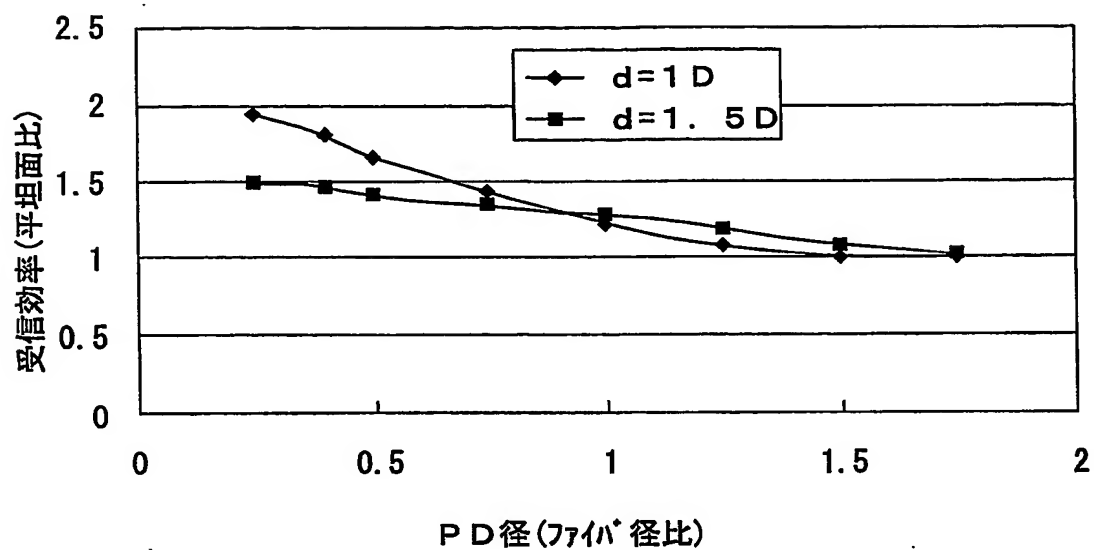
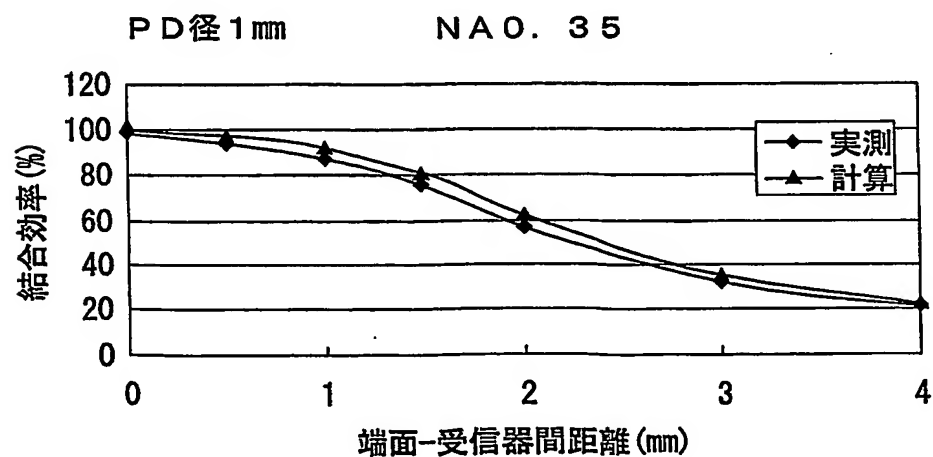
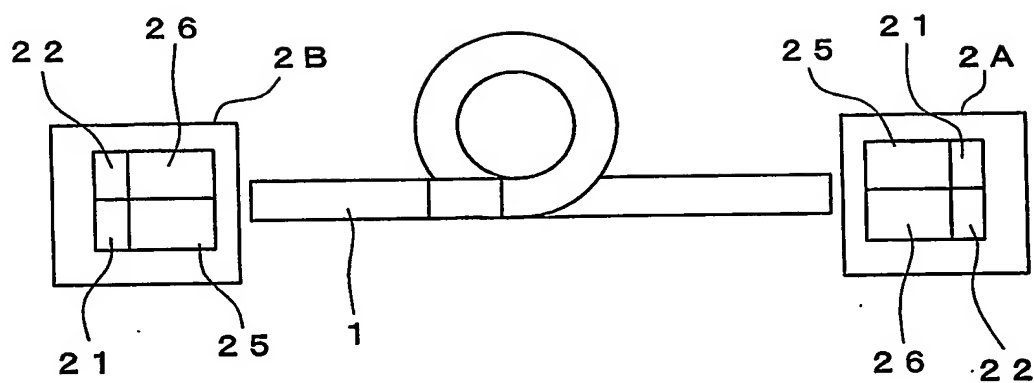
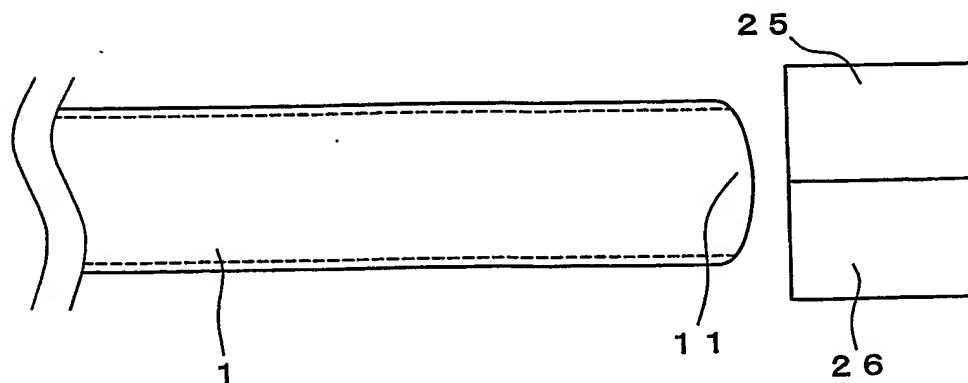
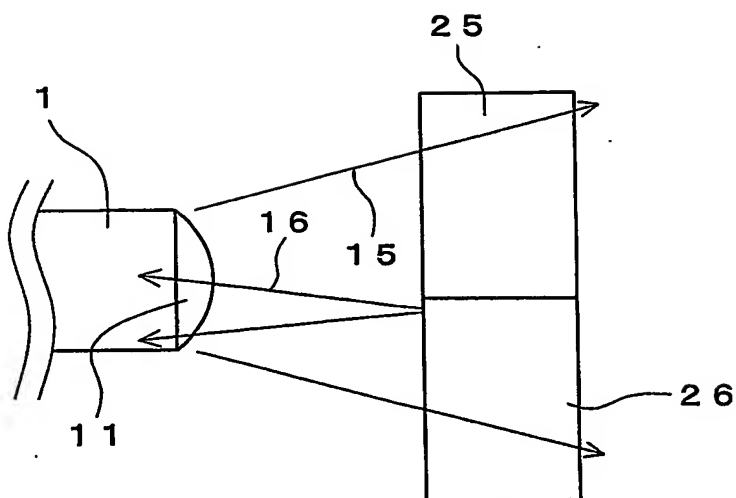
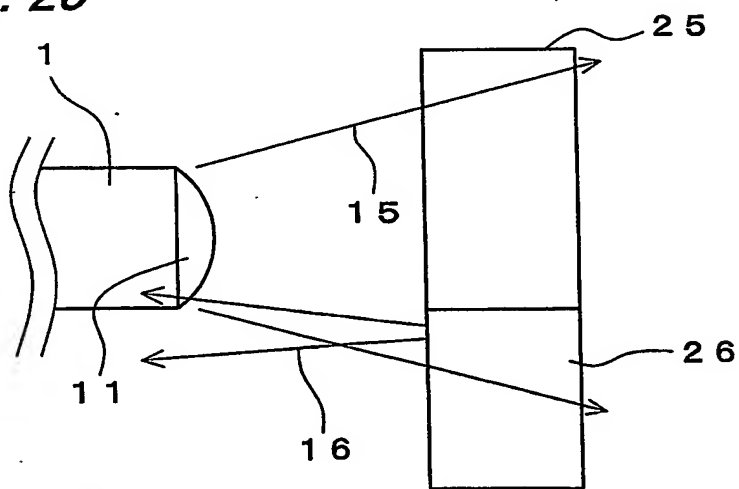
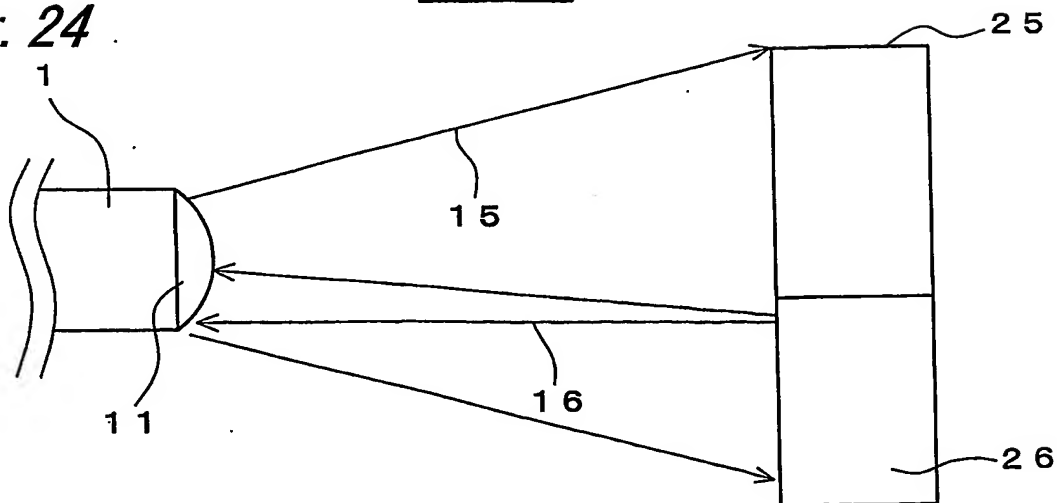


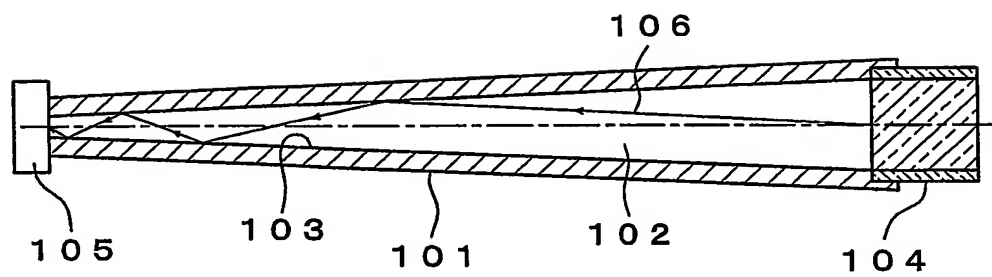
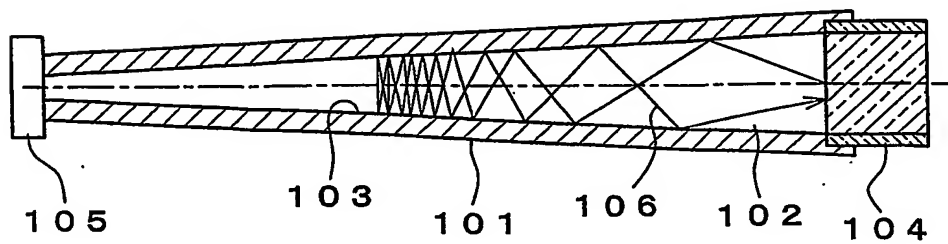
Fig. 19





*Fig. 20**Fig. 21*

*Fig. 22**Fig. 23**Fig. 24*

*Fig. 25**Fig. 26*

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/10543

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> Int.Cl <sup>7</sup> G02B6/42		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl <sup>7</sup> G02B6/42		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996</span> <span>Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003</span> <span>Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003</span> </div>		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-221627 A (Yazaki Corp.), 09 August, 2002 (09.08.02), Par. Nos. [0016] to [0025]; Figs. 1, 2(a) (Family: none)	1, 3, 5-8 2, 4, 9
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 85094/1989 (Laid-open No. 26103/1991) (NEC Corp.), 18 March, 1991 (18.03.91), Page 4, line 7 to page 5, line 17; Fig. 1 (Family: none)	2, 4
Y	JP 2002-31727 A (Sharp Corp.), 31 January, 2002 (31.01.02), Par. Nos. [0046] to [0052], [0056]; Figs. 1, 2(B) (Family: none)	9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 27 November, 2003 (27.11.03)	Date of mailing of the international search report 16 December, 2003 (16.12.03)	
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer	
Facsimile No.	Telephone No.	

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/42

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/42

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2002-221627 A (矢崎総業株式会社) 2002.08.09, 段落番号【0016】-【0025】, 図1,	1, 3, 5-8
Y	2(a) (ファミリーなし)	2, 4, 9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27.11.03

国際調査報告の発送日

16.12.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

井上 博之

2K

3211

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	日本国実用新案登録出願 1-85094 号 (日本国実用新案出願公開 3-26103 号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (日本電気株式会社) 1991.03.18, 第4頁第7行目-第5頁第17行目, 第1図 (ファミリーなし)	2, 4
Y	JP 2002-31727 A (シャープ株式会社) 2002.01.31, 段落番号【0046】-【0052】, 【0056】, 図1, 2 (B) (ファミリーなし)	9